

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky

Snímač měření tlaku – laboratorní úloha

Bakalářská práce

2021

Filip Špaček

Snímač měření tlaku – laboratorní úloha

Pressure Sensor – Laboratory Task

Filip Špaček

Bakalářská práce

Vedoucí práce: prof. Ing. Marek Penhaker, Ph.D

Ostrava, 2021

Abstrakt

Hlavní cílem této bakalářské práce je vytvořit funkční náhradu k senzoru tlaku, který se běžně používá při měření tlaku. V práci jsou rozebrány jednotlivé metody měření krevního tlaku. Po nalezení jednotlivých parametrů výchozího senzoru tlaku byl vybrán jako vhodná náhrada senzor s označením MPS20N0040D. Pro senzor byl vytvořen DPS obvod zapojený ke konektoru DIN8. Pro zakrytí senzoru bylo využito technologie SLA 3D tisku. Design krytu vychází z komerčního produktu. Pro vytvořený senzor byla zhotovena laboratorní úloha v programu LabAuthor kernel, která potvrzuje správnou funkčnost náhrady.

Klíčová slova

krevní tlak, senzor tlaku, měření krevního tlaku, ADI PowerLab

Abstract

The main goal of this bachelor thesis is to create a functional replacement for the pressure sensor used in pressure measurement. Various methods for measuring blood pressure are analyzed in the thesis. After finding the individual parameters of the initial pressure sensor, a sensor marked MPS20N0040D was selected as a suitable replacement. A PCB circuit connected to the DIN8 connector was created for the sensor. SLA 3D printing technology was used to cover the sensor. The cover design is based on a commercial product. A laboratory task was performed for the created sensor in the LabAuthor kernel program, which confirms the correct functionality of the replacement.

Key words

blood pressure, pressure sensor, blood pressure measurement, ADI PowerLab

Poděkování

Rád bych poděkoval prof. Ing. Marku Penhakerovi, Ph.D. odbornou pomoc a konzultaci při vytváření této bakalářské práce. Dále bych rád poděkoval kamarádovi Bc. Michalovi Procházkovi za pomoc s 3D tiskem a konzultaci ohledně vytvoření DPS.

Obsah

Seznam použitých symbolů	- 6 -
Seznam použitých zkratk	- 7 -
Seznam ilustrací a tabulek	- 8 -
Úvod	- 9 -
1 Seznámení s principy měření krevního tlaku	- 10 -
1.1 Krevní tlak	- 10 -
1.2 Dělení krevního tlaku	- 11 -
1.3 Metody měření krevního tlaku	- 11 -
1.3.1 Auskultační metoda	- 11 -
1.3.2 Oscilometrická metoda	- 12 -
1.3.4 Metoda impedanční reografie	- 15 -
1.3.5 Invazivní metody měření KT	- 15 -
2 Seznámení s principem činnosti senzoru ADI Disposable BP	- 18 -
2.1 PowerLab	- 18 -
2.2 ADI Disposable BP	- 19 -
2.2.1 Použití	- 20 -
3 Návrh a realizace senzoru pro měření krevního tlaku	- 21 -
3.1 Konstrukce	- 22 -
3.2 Plošný spoj	- 23 -
4 Realizace laboratorní úlohy	- 28 -
4.1 LabTutor	- 28 -
4.1.1 LabAuthor kernel	- 28 -
4.1.2 LabAuthor	- 28 -
4.2 Laboratorní úlohy	- 28 -
4.2.1 První strana	- 29 -
4.2.2 Druhá strana	- 30 -
4.2.3 Třetí strana	- 31 -
4.2.4 Čtvrtá strana	- 32 -
4.2.5 Pátá strana	- 33 -
5 Vyhodnocení výsledků a měření	- 36 -
5.1 Program R studio	- 36 -

5.2 Ověření těsnosti.....	- 38 -
Závěr.....	- 39 -
Použitá literatura	- 40 -
Seznam příloh	- 41 -

Seznam použitých symbolů

Symbol	Jednotky	Význam symbolu
U	V	Napětí
f	Hz	Frekvence
R	Ω	Odpor
σ	-	Směrodatná odchylka

Seznam použitých zkratek

Zkratka	Význam
3D	3 dimension
A/D	analog to digital
ADI	ADInstruments
BP	blood pressure
DBP	diastolic blood pressure (diastolický krevní tlak)
DC	direct current (stejnoseměrný proud)
DIN8	Deutsches Institut für Normung (Německý ústav pro normy)
DPS	deska plošných spojů
GND	Ground (signálová zem)
HTML	Hypertext Markup Language
KT	krevní tlak
MAP	mean arterial pressure (střední arteriální tlak)
SMD	surface mount technology (technologie povrchové montáže)
SPB	systolic blood pressure (systolický krevní tlak)
UV	ultra fialové světlo

Seznam ilustrací a tabulek

Obrázek 1: Záznam tlaku v různých místech krevního řečiště [1].....	- 10 -
Obrázek 2: Neinvazivní měření krevního tlaku oscilometrickou metodou [4]	- 13 -
Obrázek 3: Amplituda oscilací v závislosti na tlaku [4].....	- 13 -
Obrázek 4: Tonometr [4].....	- 14 -
Obrázek 5: Měření pomocí impedanční reografie [4].....	- 15 -
Obrázek 6: Swan-Ganzův katétr [4]	- 16 -
Obrázek 7: Invazivní měření krevního tlaku [4]	- 17 -
Obrázek 8: Tlakový senzor MPS20N004D	- 22 -
Obrázek 9: Návrh v programu Fusion 360.....	- 22 -
Obrázek 10: Hotový výtisk.....	- 23 -
Obrázek 11: Schéma zapojení v EAGLE	- 23 -
Obrázek 12: Obvodové zapojení v EAGLE	- 24 -
Obrázek 13: Osazená DPS deska zespodu.....	- 25 -
Obrázek 14: Osazená DPS deska shora	- 25 -
Obrázek 15: Popis pinů konektoru [8].....	- 26 -
Obrázek 16: Vytvořená náhrada senzoru ADI Disposable BP – pohled shora	- 26 -
Obrázek 17: Vytvořená náhrada senzoru ADI Disposable BP – pohled ze strany.....	- 27 -
Obrázek 18: Vytvořená náhrada senzoru ADI Disposable BP – pohled ze spodní strany.....	- 27 -
Obrázek 19: První strana laboratorní úlohy	- 29 -
Obrázek 20: Druhá strana laboratorní úlohy	- 30 -
Obrázek 21: Třetí strana laboratorní úlohy.....	- 31 -
Obrázek 22: Čtvrtá strana laboratorní úlohy	- 32 -
Obrázek 23: Pátá strana laboratorní úlohy – cvičení 1	- 33 -
Obrázek 24: Pátá strana laboratorní úlohy – cvičení 2	- 34 -
Obrázek 25: Pátá strana laboratorní úlohy – otázky.....	- 35 -
Obrázek 26: Boxplot rozdílů tlaků obou senzorů	- 37 -
Obrázek 27: QQ graf rozdílů tlaku obou senzorů.....	- 37 -
Obrázek 28: Histogram rozdílů tlaku obou senzorů.....	- 38 -
Obrázek 29: Test těsnosti nového senzoru	- 38 -
Tabulka 1: Specifikace PowerLab 15T [7]	- 19 -
Tabulka 2: Specifikace tlakového senzoru ADI Disposable BP [9]	- 20 -
Tabulka 3: Parametry vybraných tlakových senzorů	- 21 -
Tabulka 4: Pinové zapojení vytvořeného senzoru.....	- 25 -

Úvod

Cílem této bakalářské práce je vytvoření funkční náhrady komerčního produktu ADI Disposable BP, která by dokázala změřit stejný rozsah tlaku při podobném rozměru a nižších pořizovacích nákladech. Podmínkami, které musí náhrada splňovat, jsou kompatibilita s přístrojem ADI PowerLab 15T a možnost připojení k manžetě nebo katétu. Posledním bodem práce je tvorba laboratorní úlohy, která srovná vytvořený senzor s komerčním a takovýmto způsobem ověří po vyhodnocení naměřených dat funkčnost nového senzoru.

V první části práce je rozebrána teoretická problematika neinvazivního i invazivního měření krevního tlaku.

Teoretická část klade důraz na technické parametry snímačů a následně využívá získaných informací pro výběr správného snímače pro měření tlaku.

V praktické části jsou rozebrány technické parametry komerčního senzoru ADI Disposable BP a na základě zjištěných parametrů je vybrán senzor, který vyhovuje těmto kritériím, jako vhodná náhrada. Následuje kapitola o vytvoření funkční náhrady. Tato část obsahuje návrh plošného spoje a popisuje, jakým způsobem byl vytvořen. To se týká osazení plošného spoje součástkami, návrhu a tisku krabičky pro tento obvod. Dále se v práci nachází obrazová dokumentace s popisem.

Po této části následuje vytvořená laboratorní úloha, která má za úkol ověřit funkčnost výrobku. Obsahem této úlohy je provedení měření krevního tlaku, které by dokázalo ověřit funkčnost nového senzoru a srovnat jeho vlastnosti s komerčním produktem.

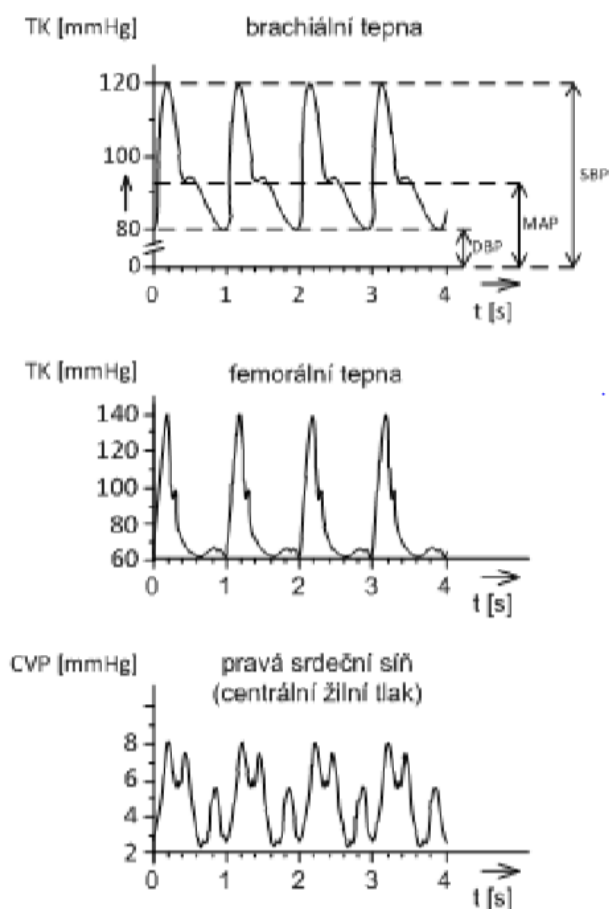
V poslední části se nachází vyhodnocení výsledků s grafy, které využívají naměřených hodnot a ukazují přesnost vytvořeného tlakového senzoru. Toto měření probíhá na obou senzorech zároveň.

1 Seznámení s principy měření krevního tlaku

Krevní tlak je veličina, která dokáže zobrazit stav kardiovaskulárního systému. Jedná se o ukazatel stavu kardiovaskulárního systému, který lze měřit invazivně i neinvazivně. Při invazivním měření se zavádí katétr do tepny, u neinvazivního měření se používá manžeta s balonkem a sphygmomanometrem, která zcela omezí průtok krve a postupně se upouští. [1], [2], [3]

1.1 Krevní tlak

Měření krevního tlaku je jednou z veličin, které se měří nejčastěji. To se děje z důvodu odvození stavu kardiovaskulárního systému. Při stahu srdce nastává tlaková síla, kdy je krev přenášena do aorty a plicnice. Nízký tlak se může nacházet v cévách, které jsou nejvíce vzdáleny od aorty.



Obrázek 1: Záznam tlaku v různých místech krevního řečiště [1]

Měření krevního tlaku lze rozdělit na centrální a periferní, dále na arteriální a venózní. V srdečních komorách se dá nejlépe změřit centrální tlak, v končetinách pak periferní. Centrální tlak je měřitelný pouze invazivní metodou. Nejvíce používanou metodou pro neinvazivní měření tlaku je použití manžety, která je umístěna na levou horní paži, zde se naměřené hodnoty nejvíce blíží centrálnímu tlaku. V srdci lze měřit tlak invazivně. Měření tlaku v srdci je možné v pravé či levé síni, komoře a plicnici. [1], [2], [3]

1.2 Dělení krevního tlaku

Tlak lze vyobrazit jako absolutní tlak nebo relativní. Absolutní tlak je síla, kterou tlak působí na jednotkovou plochu. Naopak tlak relativní je rozdíl mezi absolutními tlaky měřeny ve dvou různých prostředích. Standardní jednotkou používanou v medicíně je milimetr rtuti značený mmHg (starý název Torr, 1 Torr = 1 mmHg). Tato hodnota udává milimetr sloupce rtuti. Tlak lze určit celými čísly, není zapotřebí používat desetinnou čárku. Krevní tlak se dělí na dvě meze, tlak systolický a tlak diastolický. Systolický tlak vzniká při systole v srdečních komorách a jedná se o tlak nejvyšší. Diastolický tlak nastává při ochabnutí srdečních komor. Jedná se o tlak nejnižší. Hodnota tlaku je rozdělena lomítkem. První místo reprezentuje tlak systolický, druhé místo pak tlak diastolický. U měření centrálního tlaku lze stanovit střední hodnotu krevního tlaku. Střední arteriální tlak je hodnota odvozena ze vzorce, kde nedílnou součástí je tlak systolický i diastolický. Střední arteriální tlak lze vypočítat z následujícího vzorce.

$$MAP = \frac{SBP - DBP}{3} + DBP \quad (1)$$

Kde *MAP* je střední arteriální tlak, *SBP* představuje systolický krevní tlak a *DBP* diastolický krevní tlak.

Hodnota krevního tlaku je velmi závislá na věku, pohlaví a aktuálním stavu pacienta. Nejnižší systolický tlak je v dětství. Od dětství se systolický tlak pomalu zvyšuje. U dětí se systolický tlak pohybuje v hodnotách 75 až 80 mmHg. Hodnoty 120 mmHg dosahuje u dětí až ve školním věku. U mužů ve věku 65 let je standardní hodnota systolického krevního tlaku 145 mmHg. Diastolický krevní tlak se pohybuje do hodnoty 95 mmHg. Při průběžných klinických vyšetřeních je krevní tlak měřen neinvazivně. K tomuto měření je využívána speciální tlaková manžeta, která omezuje průtok krve. Tlak se určuje při pozastavení nebo obnovení průtoku krve v krevním řečišti. Hlavní nevýhodou neinvazivního měření krevního tlaku je že nelze měřit spojitě v čase. Speciální tlaková manžeta se nachází na těle pacienta. Standardním místem pro umístění tlakové manžety, je levá paže, kde se zaškrtní brachiální arterie. Pro registraci průtoku a pozastavení krve pod tlakovou manžetou je využíván fonendoskop k poslechu Korotkovových ozev. Tato metoda se nazývá auskultační. Při oscilometrické metodě se detekují oscilace nafouknuté použité tlakové manžety. Pro oscilometrickou metodu se používají současné elektronické tonometry. Krevní tlak lze určit například i z pletysmografie či snímáním pohybů arteriální stěny. [1], [2], [3]

1.3 Metody měření krevního tlaku

Měřit krevní tlak lze invazivně a neinvazivně. Neinvazivní měření lze provádět pomocí několika metod, z nichž nejčastěji jsou používány metody auskultační a oscilometrická. [1], [2], [3], [4]

1.3.1 Auskultační metoda

Pro auskultační metodu se využívá metoda, kde je zcela omezen průtok krve tepnou pomocí manžety. Manžeta působí na tepnu vyšším tlakem, než je systolický tlak v cévách. Působí na ni tak vysokým tlakem, až tepnou přestane proudit krev. Při pomalém upouštění tlaku lze registrovat v tlakové manžetě pomocí fonendoskopu zvuky, které nastávají změnou laminárního proudění krve na turbulentní proudění. V okamžiku detekce Korotkovových ozev, je tlak v manžetě roven systolickému tlaku. Po následujícím snižování tlaku dochází ke změně turbulentního proudění krve na

Seznámení s principy měření krevního tlaku

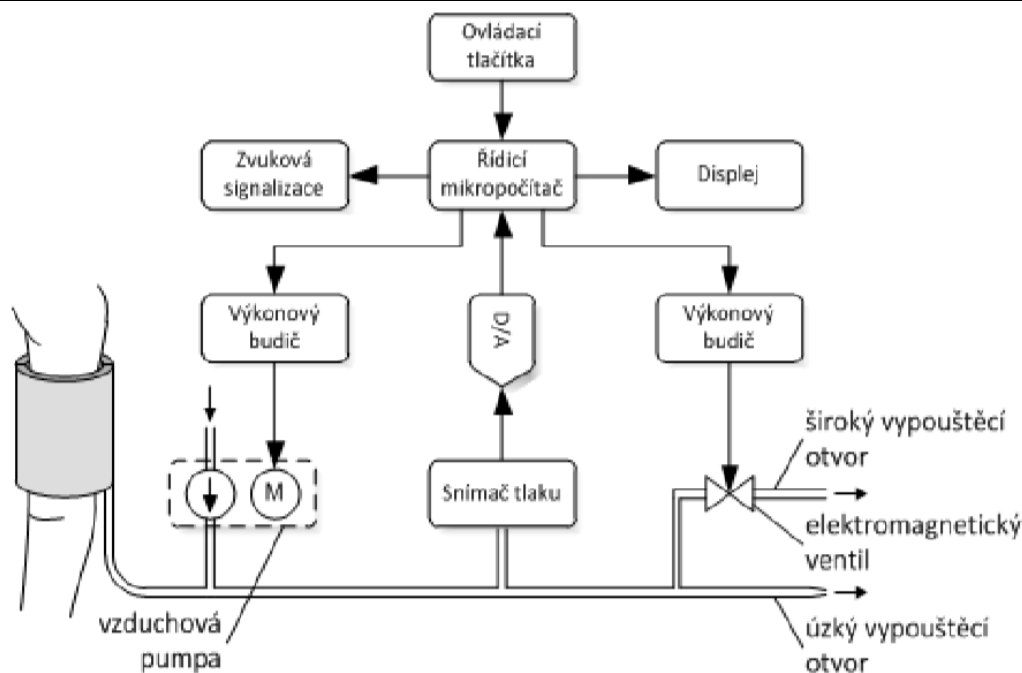
laminární proudění. V okamžiku vymizení Korotkovových ozev, je tlak v manžetě roven diastolickému tlaku. Tyto zvuky jsou pojmenovány svým ruským objevitelem Korotkovými. U auskultační metody je využíván fonendoskop pro detekci Korotkovových ozev a manometr, který je spojen s tlakovou manžetou. Manžeta se nafukuje pomocí balónku. Tlakovou manžetu lze vypustit otevřením ventilku. Fonendoskop je přikládán na brachiální arterii pod tlakovou manžetu. První zvuky jsou detekovány, když v manžetě je tlak na úrovni těsně pod systolickým tlakem. Zvuky se na začátku jeví jako šelest, později nabývají na intenzitě. Při pozorování prvních ozev, je tlak přisuzován systolickému tlaku. Při snížení tlaku se zvuky ztlumí a postupně slábnou. V okamžiku vymizení ozev je tlak roven diastolickému tlaku. Přesnost měření auskultační metody je ± 5 mmHg. [5]

Hlavní nevýhodou rtuťového manometru, je jedovatost rtuti. V dnešní době je snaha eliminovat nebezpečné kovy z důvodu ohrožení zdravotního stavu pacienta. Z tohoto důvodu se dá využít Bourdonův manometr, který nevyužívá rtuť. Avšak z jeho stupnice se hodnoty tlaku špatně odečítají. [4]

1.3.2 Oscilometrická metoda

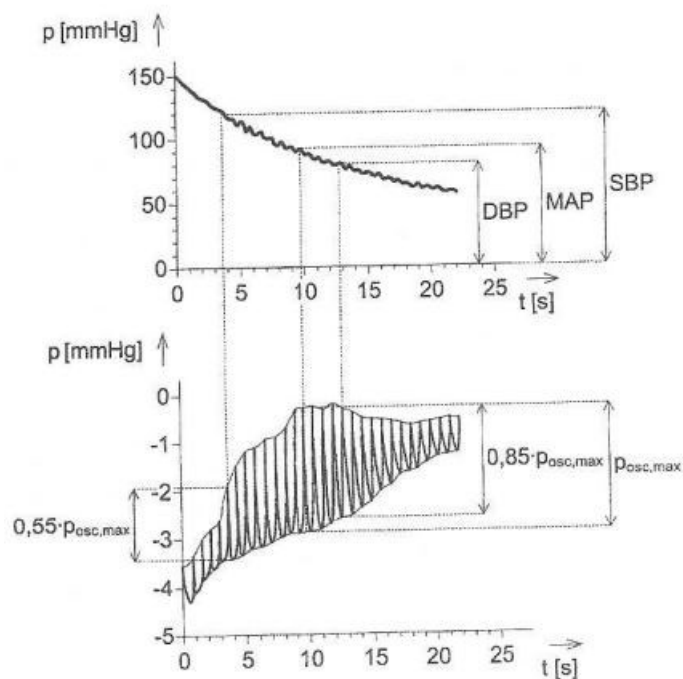
Měření oscilometrickou metodou je prováděno pomocí tlakové manžety na horní končetině. Bezpečné zaškrcení tepny zabezpečí nafouknutí manžety nad hodnotu systolického tlaku. Během upouštění tlaku z manžety dochází k pulzaci, která je přenášena z manžety do měřícího přístroje.

Po zastavení průtoku krve nastává obnovení tohoto průtoku. V tomto čase jsou na manžetu přenášeny oscilace, které vznikají náhlými změnami tlaku v manžetě. Tohoto stavu využívají elektronické tonometry dnešní doby. Po spuštění metody se uzavře elektromagnetický ventil, který se využívá k rychlému vypuštění manžety. Následně je balonkem manžeta nafouknuta na tlak větší, než je tlak systolický. Po úplném nafouknutí manžety, začíná tlak (plyn, vzduch) z manžety unikat úzkým otvorem. Tento tlak je měřen snímačem a A/D převodníkem. Pro současné měření musíme využít snímače s velkou citlivostí. Vysoká citlivost je nutná z důvodu registrace i velmi nepatrných změn tlaku. Změny tlaku v manžetě se pohybují v jednotkách milimetrů rtuti. V okamžiku, kdy je amplituda oscilací nejvyšší, je tlak v tlakové manžetě roven střednímu arteriálnímu tlaku.



Obrázek 2: *Neinvazivní měření krevního tlaku oscilometrickou metodou [4]*

Hodnota systolického tlaku je rovna hodnotě amplitudy s oscilací 55 % svého maxima. Diastolický tlak je roven hodnotě amplitudy s oscilací 85 % maximální hodnoty. Tlak v manžetě se mění postupně v závislosti na amplitudě oscilací.

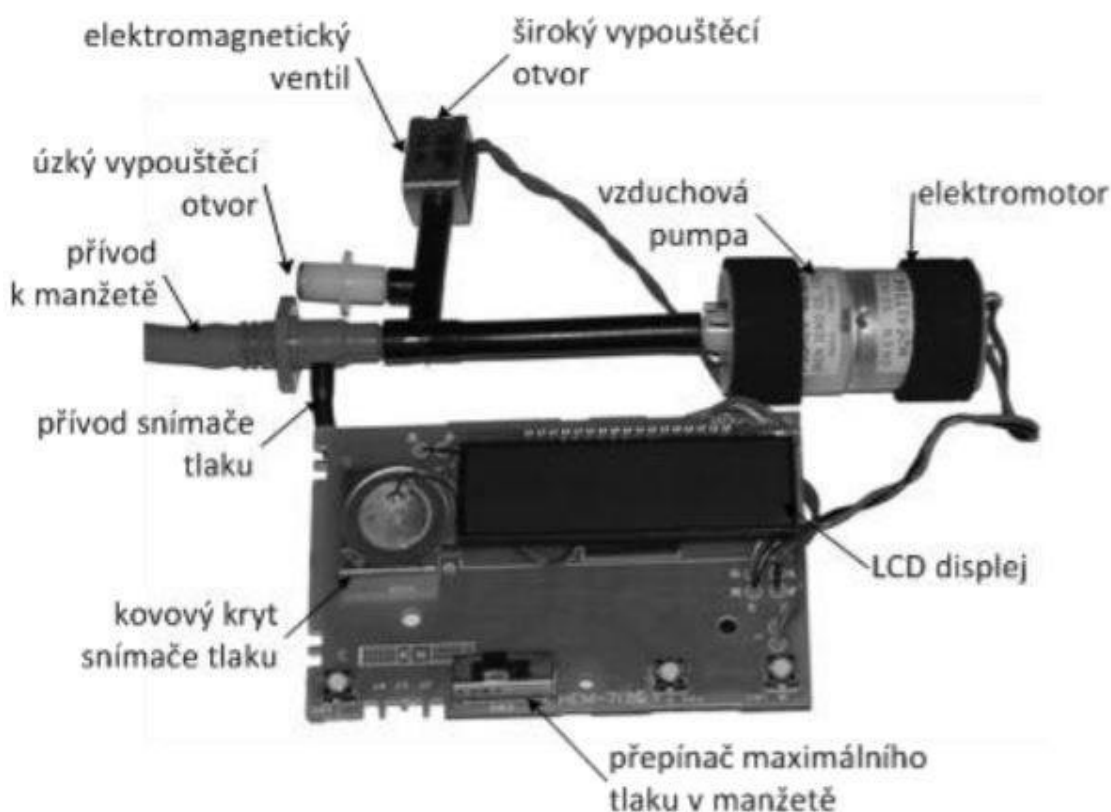


Obrázek 3: *Amplituda oscilací v závislosti na tlaku [4]*

Když tonometr hlásí chybu, jedná se nejčastěji o špatné nasazení manžety nebo jiné části měřidla. Ve většině případů je tlak v manžetě měněn příliš rychle nebo příliš pomalu. Pokud

Seznámení s principy měření krevního tlaku

jsou oscilace detekovány ihned po nafouknutí manžety, je možné detekovat to, že manžeta byla nafouknuta tlakem nižším, než je tlak systolický. Hodnoty krevního tlaku naměřené oscilometrickou metodou jsou relevantní, pouze v případě, že je pacient v naprostém klidu. U pacientů se srdeční arytmií či u pacientů, kteří jsou v šoku, je indikováno měření krevního tlaku invazivně. Hlavním problémem dnešní doby může být nemožnost neinvazivního měření u obézních pacientů. Tonometry, využívané pro moderní snímače krevního tlaku, jsou ve většině případů polovodičové snímače. [4]



Obrázek 4: Tonometr [4]

1.3.2.1 Korotkovovy ozvy

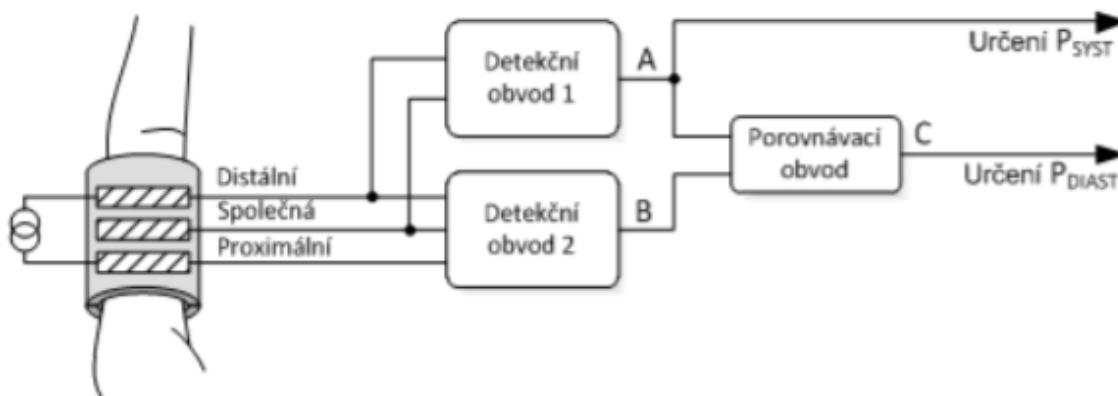
Krevní oběh je zajišťován činností krevní pumpy, kterou je srdce. Krevní tlak je určován silou, kterou ze sebe srdce vypudí krev do celého těla, a zároveň silou, kterou krev působí na cévní stěnu. Krevní oběh je velmi důležitý pro lidský život, a to z důvodu zásobování těla kyslíkem a živinami. Tlaková síla, kterou krev působí na stěny tepen, by neměla být příliš vysoká ani nízká. Při vysoké síle působení může dojít k poškození srdce, mozku, ledvin, či jiných nezbytných orgánů. Ukázková hodnota krevního tlaku je 120/80 mmHg. První hodnota udává systolický tlak. Systolický tlak nastává v situaci, kdy se laminární proudění krve přemění na turbulentní a ozvou se první Korotkovovy ozvy. Při vymizení Korotkovových ozev nastává hodnota diastolického tlaku. Diastolický tlak nastává v situaci, kdy se turbulentní proudění krve přemění na standardní laminární proudění. Při zvýšené či snížené hodnotě systolického tlaku mohou nastat zdravotní rizika. Vysoký systolický tlak je typickým onemocněním dnešní doby. Vysoký tlak je způsoben nadváhou, špatným životním stylem, kouřením či alkoholem. Vysoký krevní tlak je ve většině případů spojen s různými zdravotními potížemi, například cukrovkou.

Seznámení s principy měření krevního tlaku

Čím vyšší silou působí krevní tlak na cévy, tím více škodí srdci. Tlak na tepny je příliš vysoký a může dojít k trvalému a nenávratnému poškození tepen. Vysoký krevní tlak lze léčit medikací či zlepšením životního stylu. [4] [6]

1.3.4 Metoda impedanční reografie

Při měření krevního tlaku pomocí impedanční reografie je taktéž využívána manžeta k zastavení průtoku krve. Trojice elektrod je umístěna pod manžetou, kde je zjištěna změna impedance. Tato změna určí okamžik, kdy se tlak v manžetě přiblíží systolickému nebo diastolickému tlaku.



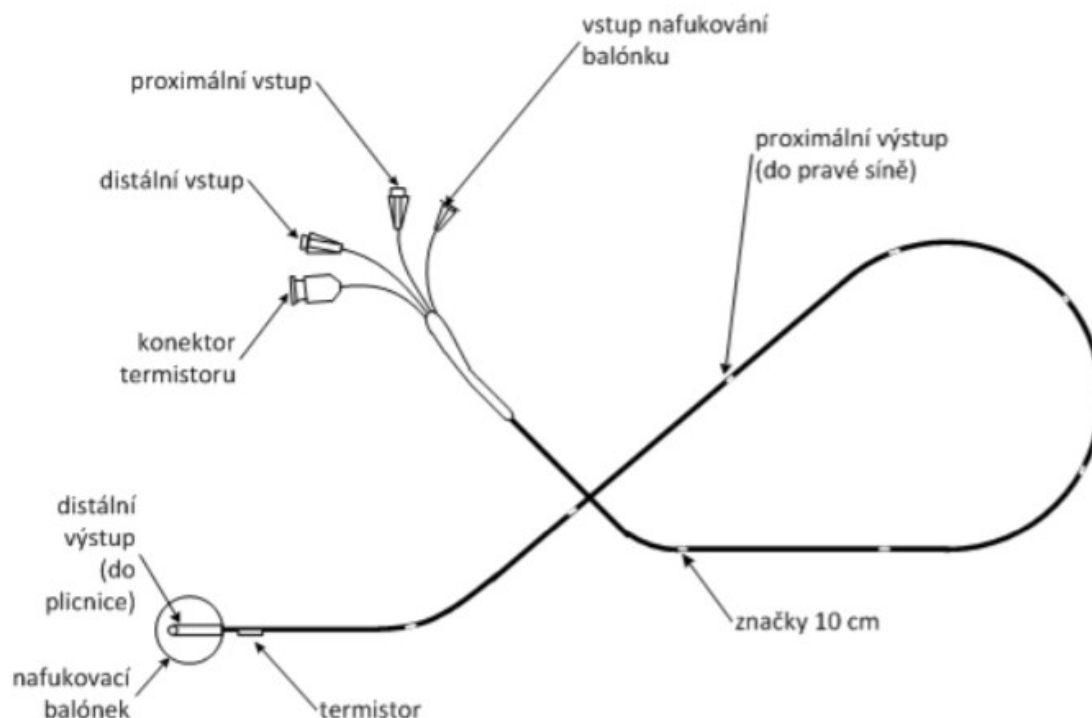
Obrázek 5: Měření pomocí impedanční reografie [4]

Pro měření se používá zdroj střídavého proudu, který se zapojí mezi bližší (proximální) a vzdálenější (distální) elektrodu. Ke změně impedance, kterou snímají elektrody, dochází vlivem různého průtoku krve. Zapojení je rozděleno na dva detekční obvody. První obvod vyhodnocuje změnu hodnoty impedance mezi společnou a distální elektrodou, druhý detekční obvod naopak vyhodnocuje rozdíl změny mezi společnou, distální a proximální elektrodou.

Při překročení tlaku v manžetě nad hodnotu tlaku systolického, přestane proudit krev do končetin a zároveň pominou změny impedance. Při snížení tlaku v manžetě se začnou objevovat impedance mezi proximální a společnou elektrodou. Jakmile začne proudit krev do končetin (tlak je menší než systolický), lze naměřit změny impedancí i mezi společnou a distální elektrodou. Na výstupu obou detekčních obvodů se nachází analogové napětí, hodnota tohoto napětí se mění v rytmu tepové frekvence. Rozdíl impedancí nejvíce klesne, jakmile tlak v manžetě je snížen na hodnotu mírně nižší než tlak diastolický. [4]

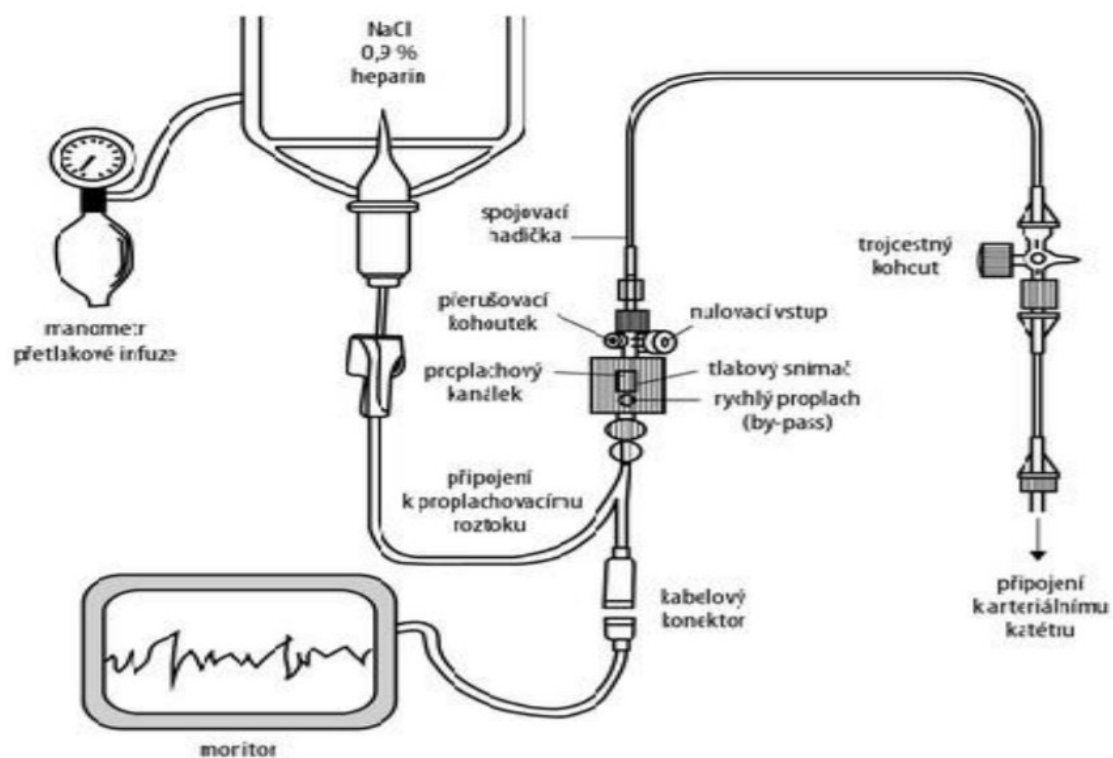
1.3.5 Invazivní metody měření KT

Invazivní metoda se používá u dlouhodobého měření. Tato metoda je prováděna pomocí katétru zavedeného buď do tepny, nebo do srdce. Nejčastěji se využívá Swan-Ganzova katétru nebo katétru s tlakovým čidlem umístěným na konci. [4]



Obrázek 6: Swan-Ganzův katétr [4]

Invazivní metoda se provádí na specializovaných pracovištích (převážně JIP a ARO), je velmi přesná. Používá se pro kontinuální měření krevního tlaku. Během operačních výkonů a při pooperačním období získává přesné hodnoty. Podstatou této metody pro měření krevního tlaku je zavedení arteriálního katétru do tepny a na katétr je připojený tlakový snímač. Měřený KT je následně pomocí převodníku převeden na elektrický signál, ten je pomocí monitoru vyobrazen graficky a číselně. Nejpoužívanější je metoda, kdy se katétr zavede přes punkční cestu do arteria radialis na nedominantní končetinu. Katétr zavádí lékař za asistence sestry při aseptických podmínkách. Katétr se připojí na systém proplachu skrze přetlak a dále se připojí k monitoru přes tlakový převodník. Důležité je proplachovat celý systém kontinuálně, aby se zabránilo vzniku trombů na špici katétru. Používá se fyziologický roztok s přídavkem heparinu. Často se zajišťuje přetlakovou manžetou, kde by měl tlak dosahovat 25 – 300 mmHg. Celý tento systém je znázorněn na obrázku 6. Před začátkem invazivního měření krevního tlaku je potřeba kalibrace celého systému. Systém by měl být následně kalibrován každých dvanáct hodin. [4]



Obrázek 7: Invazivní měření krevního tlaku [4]

2 Seznámení s principem činnosti senzoru ADI Disposable BP

Snímač tlaku ADI Disposable BP je komerční produkt používaný ve zdravotnictví pro měření krevního tlaku, který je možné propojit se zařízením PowerLab. Přístroj PowerLab je zařízení pro snímání biologických signálů člověka. [7]

2.1 PowerLab

Jedná se o měřicí přístroj, ke kterému se připojuje ADI Disposable BP. Tento přístroj je určen pro dlouhodobé a precizní zpracování signálů, především signálů biologického rázu. Zaměření tohoto přístroje je hlavně pro práci v oblasti výzkumu a vzdělání. V této práci se používá verze 15T. Označení písmenem T znamená, že přístroj je určen pro studijní účely. [7], [8]



Obrázek 4: PowerLab 15T

[<https://www.adinstruments.com/products/powerlab>]

PowerLab 15T, ke kterému se ADI Disposable BP připojuje, má dvoukanálový biozesilovač, izolovaný stimulátor, dva analogové vstupy a jeden výstup. Oba analogové vstupy dokáží zpracovat vstupní signály bez předzesílení v rozmezí od jednotek mikrovoltů až do deseti voltů. Dále jsou oba vstupy vybaveny programovatelným zesilovačem s filtrem. Každý má vlastní A/D převodník, aby bylo docíleno vysoké kvality synchronizace signálů. Přesun dat ze zařízení PowerLab do PC je zajištěn skrze rozhraní USB. V následující tabulce jsou vypsány potřebné technické specifikace pro práci s ADI PowerLab 15T. [7], [9]

Tabulka 1: Specifikace PowerLab 15T [7]

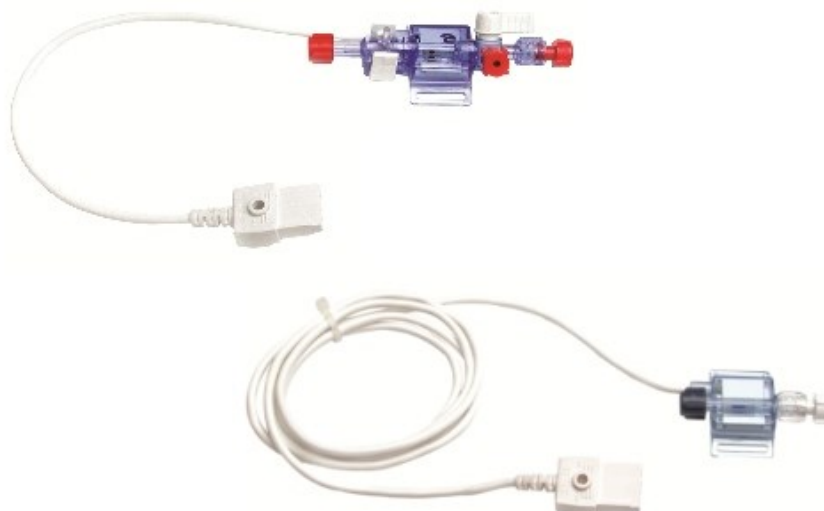
Technické specifikace	Hodnota
Počet analogových vstupů	2
Napěťový vstupní rozsah	± 20 mV až ± 10 V
Poruchové vstupní napětí	> 15 V
Datové rozlišení	16 bit
Minimální vzorková frekvence	1 vzorek / 10 min
Maximální vzorkovací frekvence	100 000 vzorků/s
Vstupní impedance	1 M Ω
Vstupní rozsah / Rozlišení	± 10 V / 313 μ V ± 5 V / 156 μ V ± 2 V / 62 μ V ± 1 V / 31 μ V ± 500 mV / 15 μ V ± 200 mV / 6 μ V ± 50 mV / 1,5 μ V ± 20 mV / 0,625 μ V

Pro zobrazení dat je používán program LabTutor, který je ve formě html stránek, tudíž je možné jej otevřít ve webovém prohlížeči.

O přesun signálu z ADI Disposable BP se stará přívodní kabel s koncovkou DIN8. Koncovka DIN8 je vybavena osmi piny. [7], [8]

2.2 ADI Disposable BP

ADI Disposable BP je lehký, jednorázový snímač pro měření krevního tlaku, navržený tak, aby umožňoval provádět přesné a konzistentní měření krevního tlaku s rozsahem mezi -50 až +300 mmHg. Lze jej připojit ke všem přístrojům PowerLab od firmy ADInstrument přes kabel s adaptérem MLAC06 nebo DIN8. Uvnitř senzoru je využito zapojení Wheatstonova můstku, toto zapojení je vhodné pro měření malých odporů. [10], [11]



Obrázek 5: ADI Disposable BP

[<https://www.adinstruments.com/products/disposable-bp-transducers#data-cards>]

Specifikace senzoru ADI Disposable BP jsou shrnuty v následující tabulce.

Tabulka 2: Specifikace tlakového senzoru ADI Disposable BP [9]

Technická specifikace	Hodnota
Provozní rozsah	-50 až +300 mmHg
Budící napětí	2 až 10 V DC
Citlivost	5 μ V/mmHg
Ochrana proti přetlaku	-400 až 4 000 mmHg
Nelinearita a hystereze	± 2 % nebo ± 1 mmHg
Výstupní impedance	350 Ω $\pm 10\%$
Provozní životnost	>500 hodin
Rozměry	57 * 39 mm
Konektor	DIN8, MLAC06

2.2.1 Použití

ADI Disposable BP se připojí na kanylu nebo katétr, celý systém je nutné třikrát až čtyřikrát propláchnut za účelem odstranění všech vzduchových bublin. Dokud není umožněno nepřetržité proplachování, používá se deseti mililitrová stříkačka. [9]

3 Návrh a realizace senzoru pro měření krevního tlaku

Volba tlakového senzoru

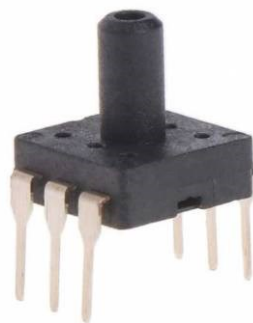
Pro vytvoření náhradního tlakového senzoru bylo zvažováno použití různých elektrických součástek, které by byly schopny přeměnit tlak na měřitelné napětí s určitou přesností. Pro výběr vhodného tlakového senzoru je potřeba aby splňoval několik parametrů. Pro porovnání a výběr vhodného tlakového senzoru slouží následující tabulka.

Tabulka 3: Parametry vybraných tlakových senzorů

Název	Citlivost	Napájecí napětí (V)	Napájecí proud (mA)	Rozsah (mmHg)	Cena (kč)
SMD MPXH6115AC6U	45,9mv/kpa	5	10	112,5-862,5	345
MPS20N0040D-D	50mv/40kpa	5	1	0-300	85
ABPDANN005PG2A3	Neuvedeno	3,3/5	3,9/4,6	0-258,5	509
THT MPX4115A	46mv/kpa	5	10	112,5-862,5	516
THT SPD005G	Neuvedeno	5-10	3	0-262,5	209

Pro vytvoření funkční náhrady komerčního produktu byly vybrány různé tlakové senzory, z nichž se nejlépe osvědčil senzor MPS20N0040D. Tento senzor využívá zapojení s Wheatstonovým můstkem. Wheatstonuv můstek je zapojení 3 rezistorů s jedním tenzometrem, jehož odpor se mění v závislosti na změně tlaku. Tento senzor je vybrán kvůli své citlivosti podobné jako má zadáný senzor 5 $\mu\text{V/mmHg}$ a rozsahem měření až 0-40 kPa což odpovídá požadovaným 0-300 mmHg. Zároveň byl vybrán jako vhodná náhrada pro svou cenu a nízký napájecí proud. Také tělo tohoto senzoru je vhodné pro použití v této laboratorní úloze, protože není potřeba vytvořit složité pouzdro nebo ho mechanicky upravovat a zmenšovat.

Zbýlé senzory buď neodpovídaly měřicím rozsahem nebo cenou.



Obrázek 8: Tlakový senzor MPS20N004D

[<https://arduino-shop.cz/photos/produkty/f/34/34446.jpg?m=1582789780>]

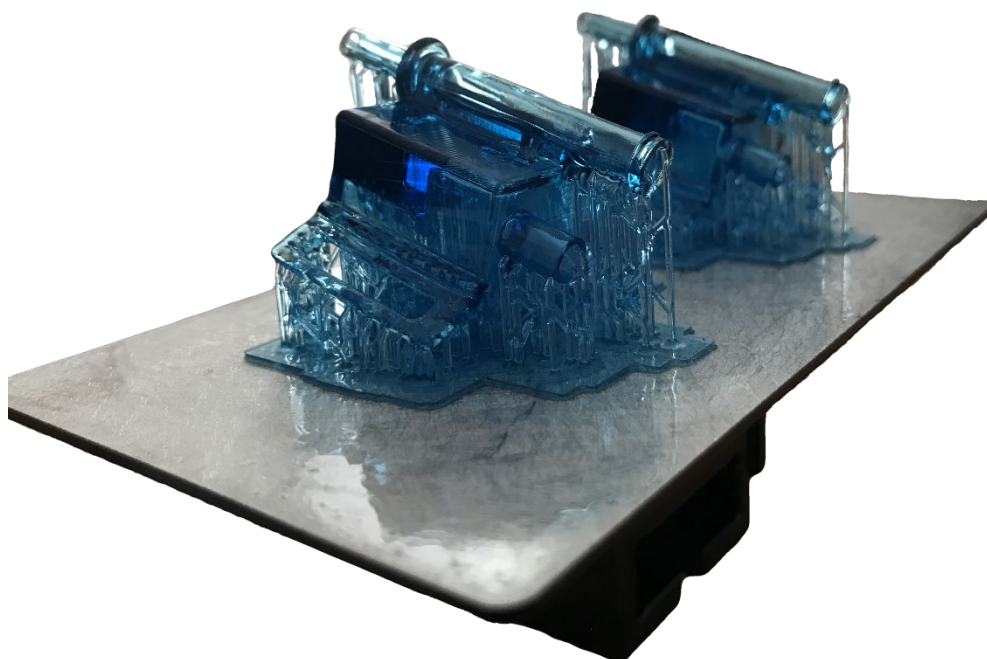
3.1 Konstrukce

Pro vytvoření krabičky pro tlakový senzor byl použit program Fusion 360, ve kterém se vytvořil 3D návrh. Pomocí posuvného měřítka se naměřil komerční produkt tak, aby se dal výsledný výrobek bez problému používat s originálním příslušenstvím.



Obrázek 9: Návrh v programu Fusion 360

Celý kryt senzoru byl vytištěn na 3D resinové tiskárně metodou SLA. Tato metoda byla zvolená kvůli své přesnosti a kvalitě tisku. Na rozdíl od FDM metody, kde se vrstvy skládají na sebe a mezi nimi vznikají malé skuliny, kterými by mohl unikat vzduch.

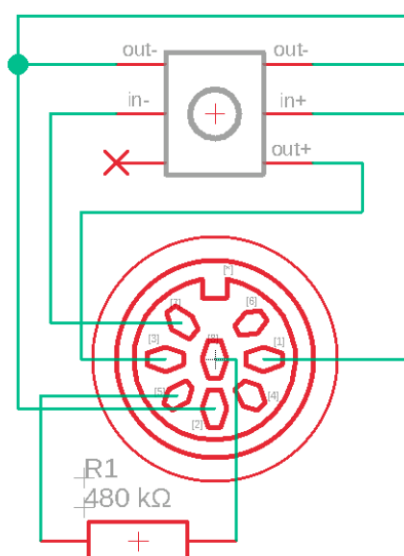


Obrázek 10: Hotový výtisk

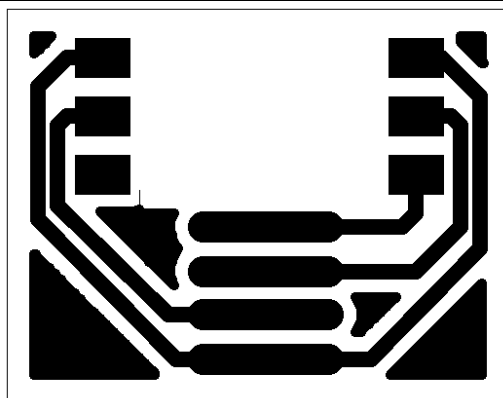
3.2 Plošný spoj

Pro připojení 4 žilového kabelu a zapojení tlakového senzoru bylo nutné vytvoření plošného spoje. Plošný spoj musí disponovat malou velikostí, aby svými rozměry vešel do vytvořeného krytu a zároveň s sebou nesl napájené potřebné komponenty.

Návrh plošného spoje byl vytvořen v programu EAGLE, použitý senzor není obsažen v knihovně EAGLU, bylo potřeba jej vytvořit. Obvod byl zkonstruován tak aby měl 4 piny pro připojení kabelu, 2 pro napájení a 2 pro výstup.



Obrázek 11: Schéma zapojení v EAGLE



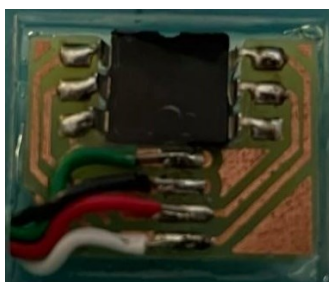
Obrázek 12: *Obvodové zapojení v EAGLE*

Pinové zapojení je znázorněno v následující tabulce. Zároveň je v konektoru DIN8 zapojený rezistor s odporem $480\text{k}\Omega$ který tam slouží jako hardwarový klíč.

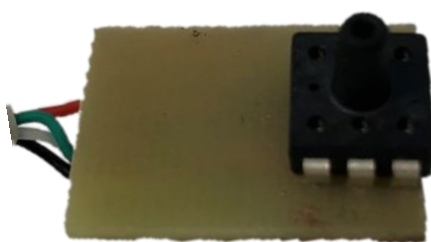
Tabulka 4: *Pinové zapojení vytvořeného senzoru*

Číslo pinu ze schématu (DIN8)	Zapojení
1	+5 V
2	Data -
3	Data +
5	R1
7	GND
8	R1

Šablona, vytvořená v EAGLE byla zrcadlově obráceně natištěna pomocí laserové tiskárny na nalakovaný papír. Na jemně zbroušenou DPS, která byla očištěná isopropylalkoholem kvůli odmaštění, byla pomocí laminátovače šablona uchycena na měděnou DPS. Následně byla šablona (která byla nalepená na DPS) odmačena ve vodě, aby bylo možné odstranit papír. Následně byla měď leptána pomocí kyseliny chloridu železitého. Po vyleptání byla šablona pomocí acetonu odstraněna. Následovalo vrtání a zapájení součástek.

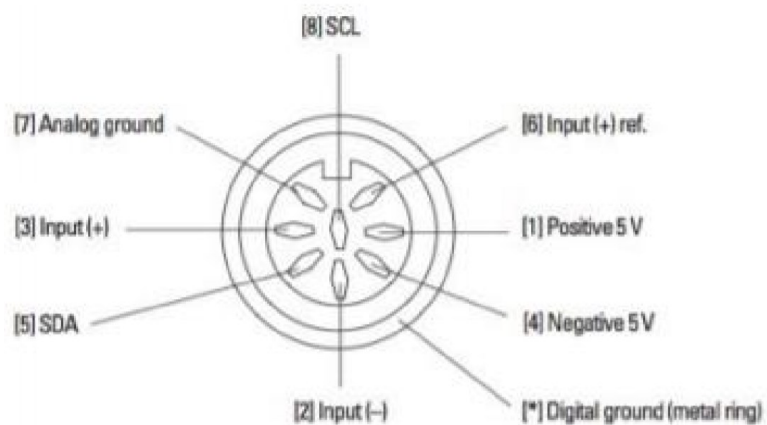


Obrázek 13: *Osazená DPS deska zespodu*



Obrázek 14: *Osazená DPS deska shora*

Připojení k zařízení PowerLab zajišťuje konektor DIN8, v tomto osmi pinovém konektoru je šest pinů zapojených. Dva piny jsou určeny pro napájení, dva piny jsou pro přenos dat, dále se v konektoru nachází hardwarový klíč ve formě rezistoru 480 k Ω . Tento rezistor je zde, aby zařízení PowerLab rozpoznalo, který senzor je do zařízení připojen.



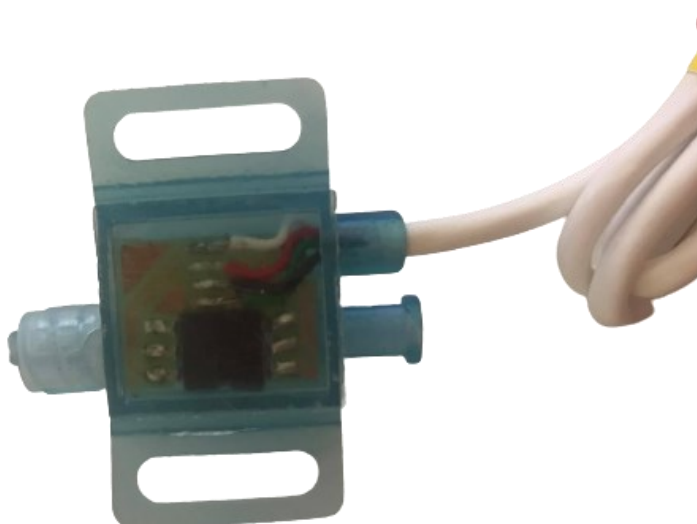
Obrázek 15: *Popis pinů konektoru [8]*



Obrázek 16: *Vytvořená náhrada senzoru ADI Disposable BP – pohled shora*



Obrázek 17: Vytvořená náhrada senzoru ADI Disposable BP – pohled ze strany



Obrázek 18: Vytvořená náhrada senzoru ADI Disposable BP – pohled ze spodní strany

4 Realizace laboratorní úlohy

Pro vytvoření laboratorní úlohy byl zvolen program LabTutor a programovací prostředí LabAuthor kernel. V laboratorní úloze je porovnávána náhrada jedna ku jedné s komerčním produktem. Pro vytvořený senzor je také vytvořeno kontrolní měření, které ověřuje funkčnost náhrady.

4.1 LabTutor

LabTutor je programovací prostředí v HTML, je složený ze 3 základních částí, Kernel, LabAuthor a LabTutor.

Část LabTutor je již určena pro prohlížení a práci na experimentech. V něm je možné přepínat na jednotlivé stránky experimentu a ovládat grafy. Není možné již jakkoliv upravovat vzhled a obsah stránek. Výsledná data je možné vyexportovat případně zapisovat do tabulek. [8], [9]

4.1.1 LabAuthor kernel

V části kernel se propojuje zařízení PowerLab s počítačem, nastavují se v něm jednotlivé parametry a měřicí kanály. Lze v něm do přednastavených oken vkládat grafy, tabulky a textová pole, používat na výsledné signály různé filtry, výpočty a data exportovat. [8], [9]

4.1.2 LabAuthor


Prostředí LabAuthor je vývojovým prostředím pro tvorbu laboratorních úloh. Tyto úlohy jsou ve formě HTML stránek, tudíž je možné je zobrazit ve webovém prohlížeči. Tvorba těchto laboratorních úloh probíhá ve formě vkládání přednastavených polí a oken do libovolných stránek, jejich počet není omezen. [8], [9]

4.2 Laboratorní úlohy

Vytvořená laboratorní úloha je složena z pěti stránek, na straně první se nachází úvod a seznámení s problematikou, následuje strana s oknem pro vyzkoušení funkčnosti zapojení a měření. Na třetí straně se nachází měření s hotovým výrobkem, který nahrazuje komerční produkt. Předposlední strana umožňuje souběžné měření na obou senzorech pro porovnání funkčnosti obou senzorů. Poslední strana vyhodnocuje výsledky s několika závěrečnými dotazy, které se týkají průběžných výsledků v laboratorní úloze.

4.2.1 První strana

Na této straně je stručně popsán úvod k měření krevního tlaku. Dále je definován cíl úlohy, požadované znalosti nutné ke správnému změření a okno pro kontrolu připojení k zařízení PowerLab 15T.

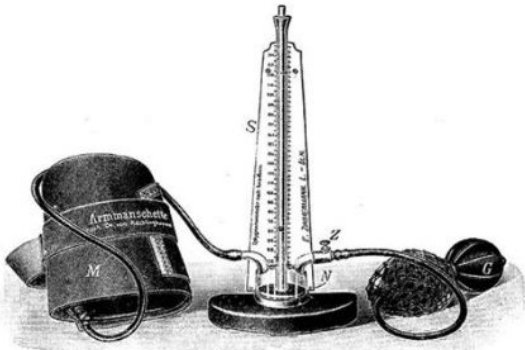
**LabTutor®**
filip spacek

Úvod

1 / 5 Previous Next

Úvod

V tomto cvičení se seznámíte s měřením krevního tlaku. Cvičení shrnuje měření krevní tlaku pomocí tlakového senzoru, manžety pro měření krevního tlaku a sphygmomanometru (tonometru). Také se naučíte vyhodnocovat změny v grafu a počítat tepovou frekvenci. Moderní éra v oblasti měření krevního tlaku začala se zavedením rtuťového tonometru Scipione Riva-Roccim (1863-1937) v roce 1896.



Riva-Rocciho sphygmomanometr z roku 1896.

Cíl úlohy:

- Porovnání vlastností vyrobeného senzoru tlaku s komerčním produktem.

Na konci tohoto laboratorního cvičení budete umět:

- Používat senzor tlaku ADIsposable BP a vypočítat tepovou frekvenci.
- Demonstrovat, jak umístění měřicí manžety ovlivní výsledky měření krevního tlaku

PowerLab Status Restart

This panel displays PowerLab status to students.

When LabTutor is unable to find a PowerLab:

- this LabTutor panel is displayed

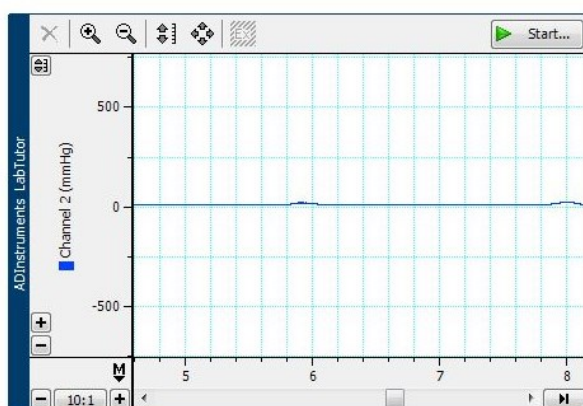
Obrázek 19: První strana laboratorní úlohy

4.2.2 Druhá strana

Tato strana je připravena pro kontrolu měření a správnosti připojení tlakového senzoru. Zde je zapsán postup pro měření a upozornění na co si dát pozor. Dále seznam použitých součástek a graf pro vykreslení dat, který zobrazí, zda je senzor připojen správně.



Zapojení senzoru tlaku



Postup:

Pro správné provedení tohoto experimentu musíte použít senzor tlaku ADInstrument BP a jeho náhradu 1:1

Tato procedura zahrnuje zastavení přítoku krve do paže. To za jistých okolností může být nebezpečné.

Prosím dodržujte následující bezpečnostní opatření:

- Zapojte senzor 1 do konektoru č. 1 na jednotce PowerLab.
- Zapojte senzor 2 do konektoru č. 2 na jednotce PowerLab.
- Zapojte senzory tlaku mezi manžetu a balonek.
- Obtočte manžetu kolem paže v nadloktí.

Test správnosti zapojení

- Klikněte na tlačítko Start.
- Natlakujte manžetu na cca 180 mm Hg
- Následně upouštějte tlak pomocí ventilu na balonku
- Klikněte na tlačítko Stop
- V případě, že se na grafu zobrazila křivka, senzor byl správně zapojen, v opačném případě zkontrolujte zapojení

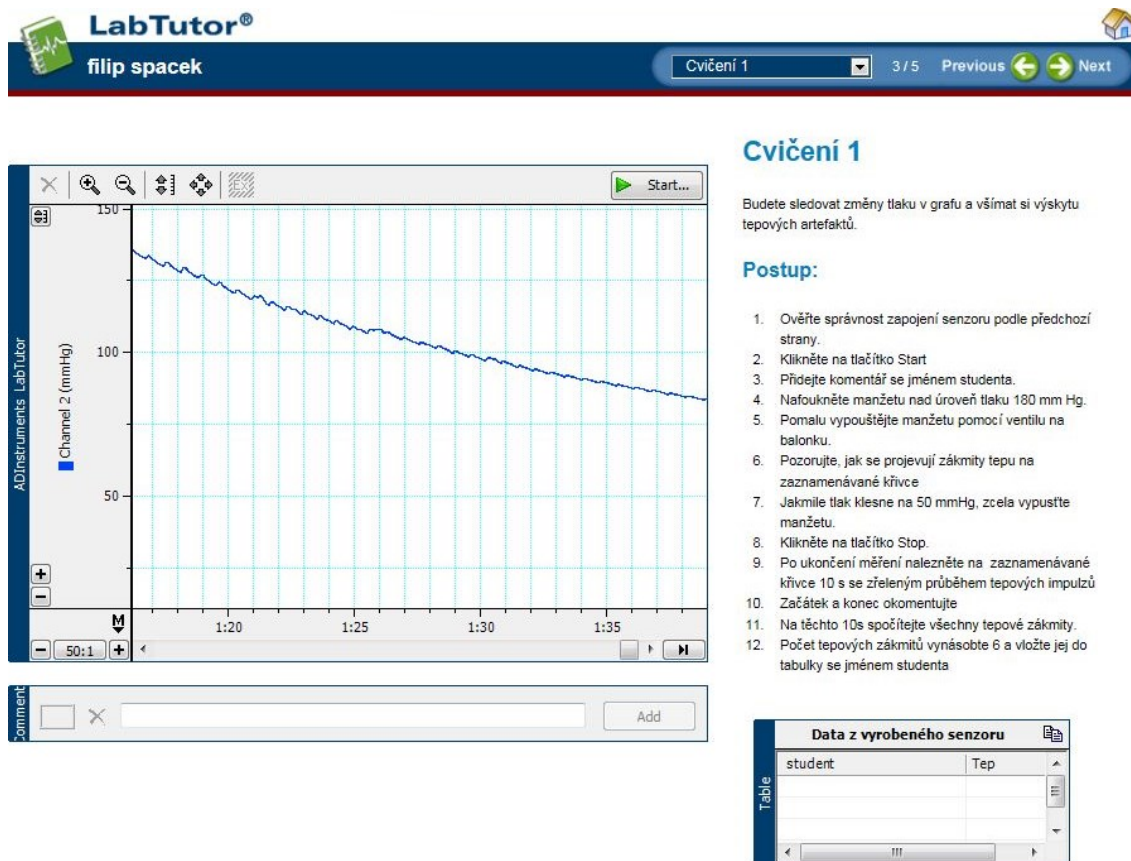
POZOR

Prohození senzorů bude mít za následek nefunkčnost měření!!!

Obrázek 20: Druhá strana laboratorní úlohy

4.2.3 Třetí strana

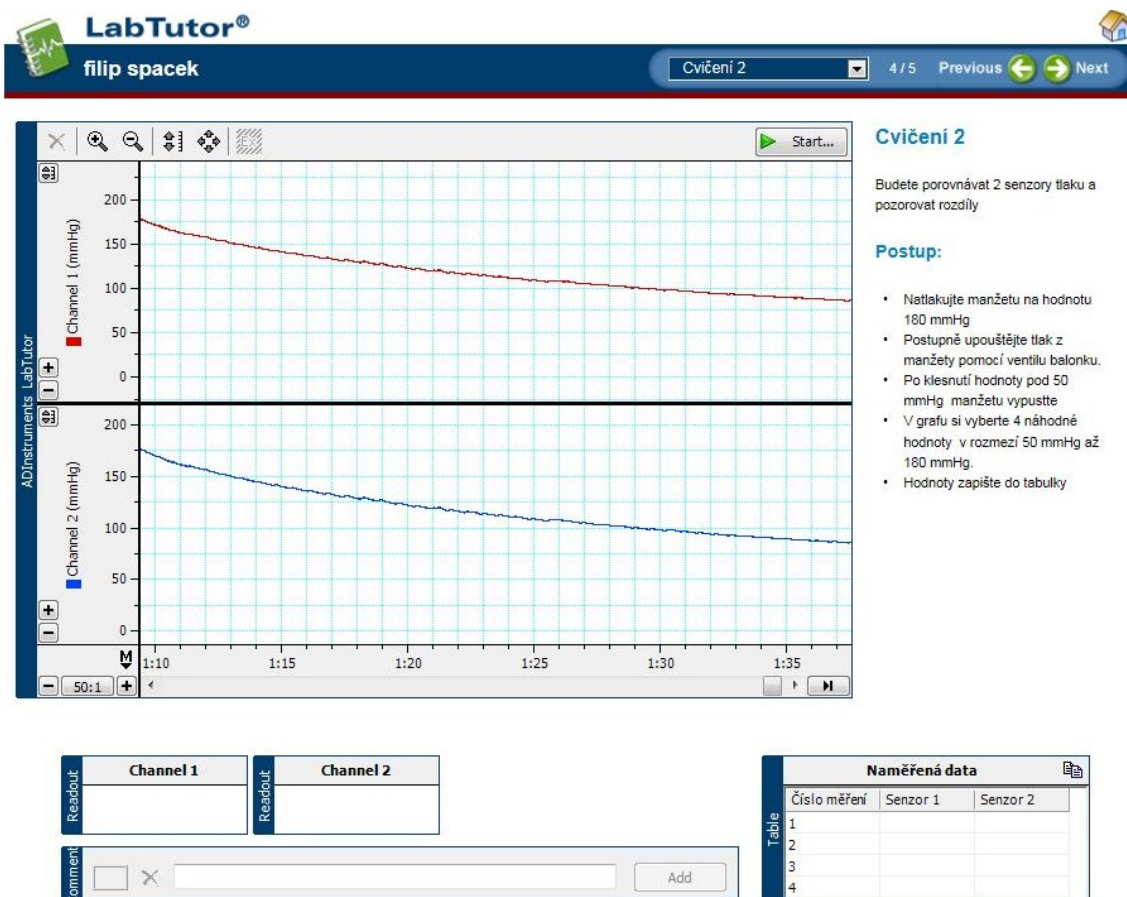
Třetí strana je určena pro měření na hotové náhradě komerčního výrobku. Cílem této úlohy je měření krevního tlaku. Z výsledného grafu je následně určen systolický a diastolický tlak. Dále je určena tepová frekvence, a to na základě zjištění periody mezi jednotlivými oscilacemi.



Obrázek 21: Třetí strana laboratorní úlohy

4.2.4 Čtvrtá strana

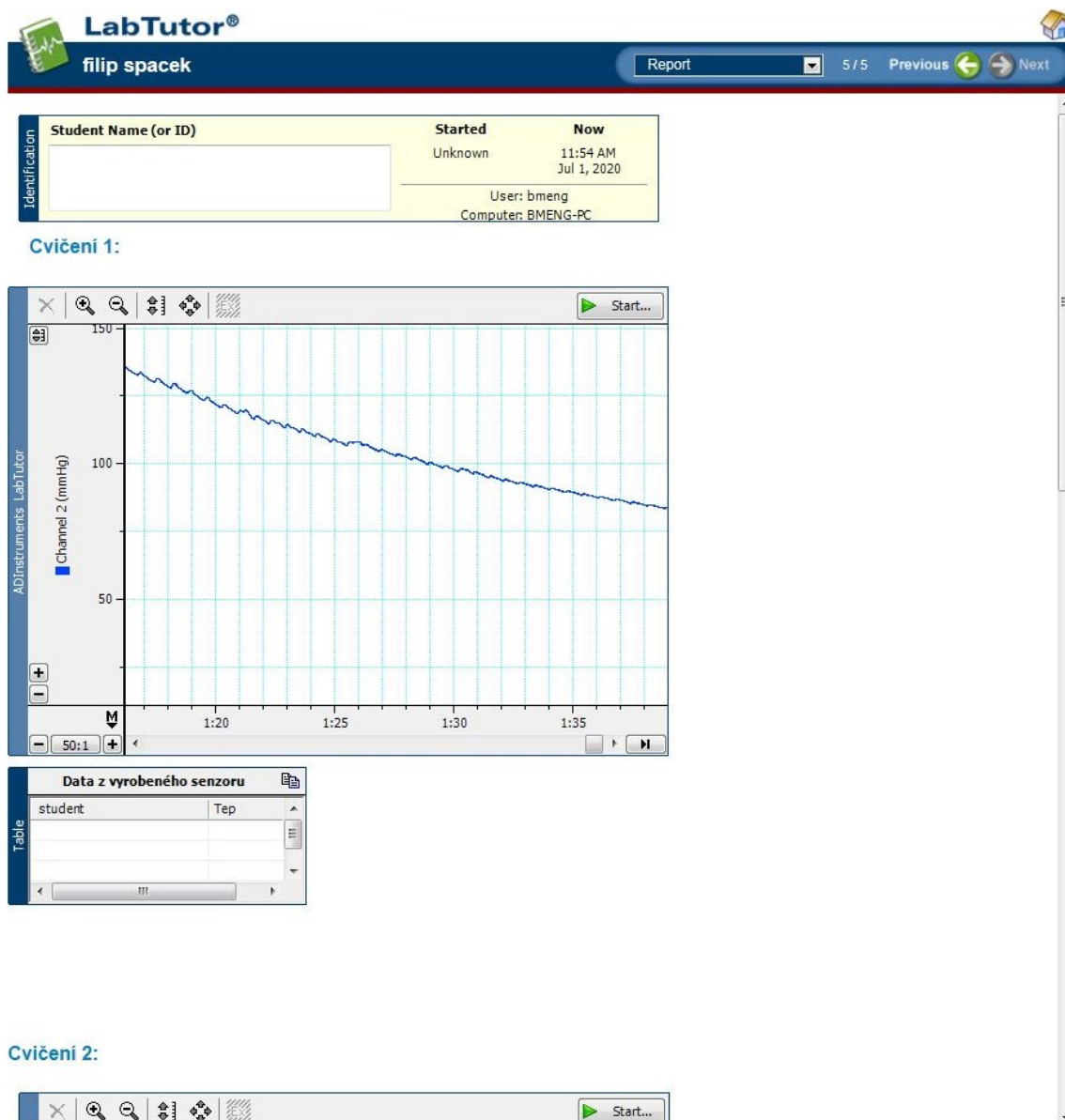
Na této straně je použito zapojení obou tlakových senzorů zároveň. Zadáním je nafouknutí manžety na určitý tlak, postupné upouštění tlaku a výběr několika dat pro určení přesnosti dat z vyrobené náhrady komerčního produktu.



Obrázek 22: Čtvrtá strana laboratorní úlohy

4.2.5 Pátá strana

Na poslední straně jsou vyobrazeny výsledky z obou měření. K nim jsou přiřazeny otázky pro ověření měření a výpočet dat z grafů. Například určení přesnosti vyrobeného tlakového senzoru, porovnání dat s analogovým sphygmomanometrem a určení systolického, diastolického a středního arteriálního tlaku. Dále lze na této straně exportovat data, případně je i odeslat.

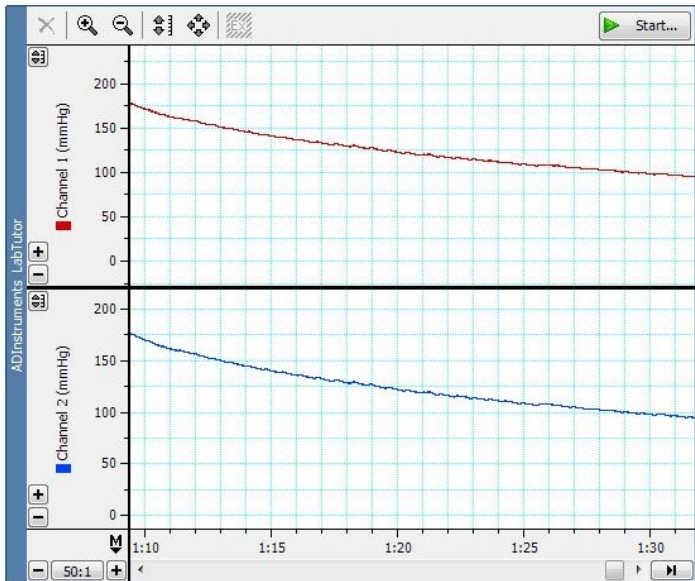


Obrázek 23: Pátá strana laboratorní úlohy – cvičení 1

LabTutor®
filip spacek

Report 5 / 5 Previous Next

Cvičení 2:



ADInstruments LabTutor

Channel 1 (mmHg)

Channel 2 (mmHg)

Start...

50:1

Naměřená data

Číslo měření	Senzor 1	Senzor 2
1		
2		
3		
4		

Otázky:

- Ze cvičení 2 vypočítejte přesnost senzoru č. 2.

Answer

- Zaúvodněte rozdíl ve výšce kmitů při rychlé změně tlaku.

Obrázek 24: Pátá strana laboratorní úlohy – cvičení 2

LabTutor®
 filip spacek

Report
5 / 5
Previous
Next

Otázky:

1. Ze cvičení 2 vypočítejte přesnost senzoru č.2
2. Zodůvodněte rozdíl ve výšce kmitů při rychlé změně tlaku.
3. Korespondují naměřená data s hodnotami na analogovém sphygmomanometru?
4. Mění se odchylka mezi tlakovými senzory lineárně nebo exponenciálně.
5. Vytvořte graf z otázky č.1
6. Ve cvičení 1 se pokuste určit systolický a diastolický tlak.
7. Ve cvičení 1 určete střední arteriální tlak.

Obrázek 25: Pátá strana laboratorní úlohy – otázky

5 Vyhodnocení výsledků a měření

5.1 Program R studio

Pro ověření správnosti senzoru bylo uděláno statistické zpracování v programu R studio. Měření probíhalo současně na obou senzorech. Komerční a nově vytvořený tlakový senzor byly připojeny k manžetě a zařízení PowerLab. Manžeta byla nafouknutá na tlak 300 mmHg. Tlak byl postupně upouštěn, vždy po 10 mmHg bylo vypouštění zastaveno po dobu 10 s, aby se tlaky vyrovnaly.

Z naměřených dat byl vždy udělán rozdíl 2 získaných hodnot, v ideálním případě by výsledný rozdíl měl být roven nule.

V prvním kroku byl vytvořen box plot (Obrázek 26.) a sledovalo se, jestli v datovém souboru nejsou odlehlá pozorování. Datový soubor neobsahoval odlehlá pozorování, takže se nemusela žádná data mazat. Poté se pokračovalo k zjištění šikmosti a špičatosti abych se dalo určit, zda data jsou symetrická.

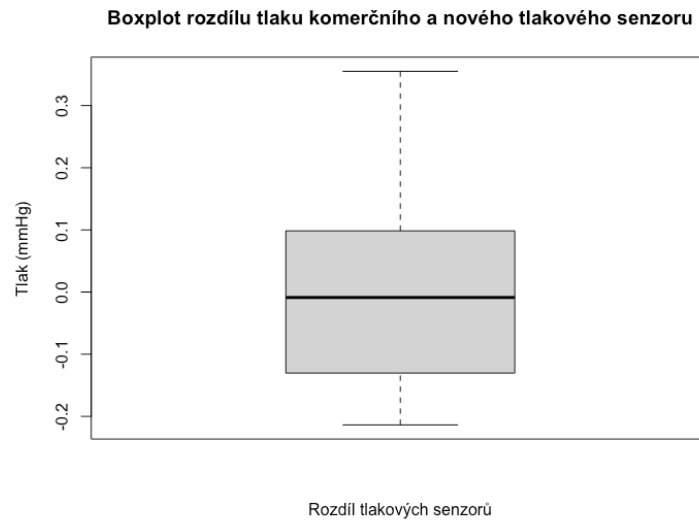
Šikmost vyšla 0,6 a špičatost -0,7. Tyto výsledky jsou v rozsahu -2 až 2 proto je možné říci, že data jsou symetrická. Je možné předpokládat, že data jsou normálního rozdělení (Obrázek 27.). (Data jsou symetrická. Kdyby data byla mimo rozsah -2 a 2, předpokládalo by se, že nemají normální rozdělení). Poté byl proveden test normality, kde byl použit Shapiro test. Výsledkem tohoto testu bylo zamítnutí normality dat (p hodnota je menší než $<0,001$), pro určení intervalového odhadu byl použit Wilcoxonův test, p-hodnota je 0,709.

Rozdíl mezi komerčním senzorem a novým není statisticky významný. U rozdílu tlaku komerčního a nového tlakového senzoru lze očekávat, že medián rozdílu bude cca 0,008 mmHg. 95% odhad mediánu rozdílu je -0,035 až 0,046.

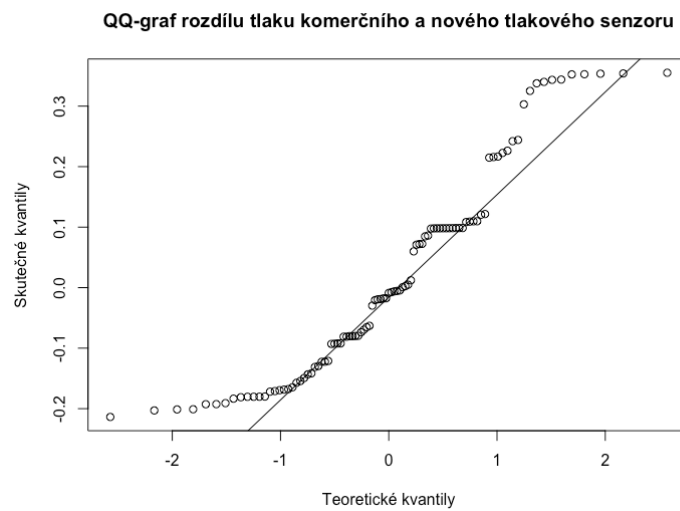
Jinak napsáno:

$$P\left(-0,035 < X_{0,5}^{P_{\text{komerční}}} - X_{0,5}^{P_{\text{nový}}} < 0,046\right) = 0,95$$

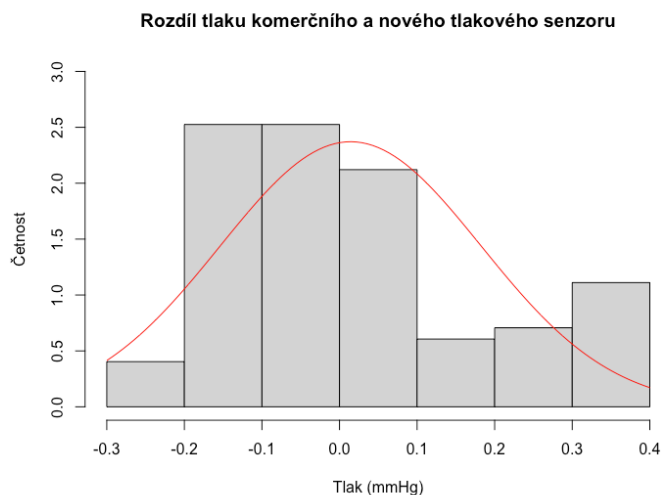
Směrodatná odchylka rozdílu je 0,168



Obrázek 26: *Boxplot rozdílů tlaků obou senzorů*



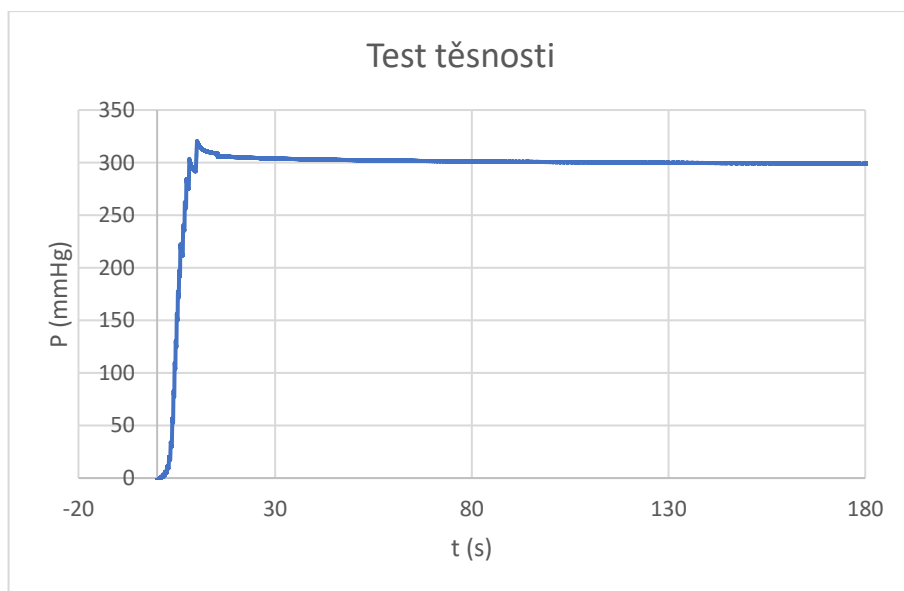
Obrázek 27: *QQ graf rozdílů tlaku obou senzorů*



Obrázek 28: Histogram rozdílů tlaku obou senzorů

5.2 Ověření těsnosti

Pro ověření těsnosti nově vytvořeného tlakového senzoru bylo použito zapojení pro měření krevního tlaku se zařízením PowerLab které shromažďovalo data. Manžeta byla nafouknutá na tlak 300 mmHg po dobu 3 minut. Po tuto dobu probíhalo pozorování změn tlaku. V ideálním případě by tlak měl po celou dobu zůstat stejný. V tomto měření se tlak po ustálení změnil o 4 mmHg.



Obrázek 29: Test těsnosti nového senzoru

Závěr

V první části práce došlo k seznámení se způsoby a metodami měření krevního tlaku, možnostmi měření tlaku oscilometrickou metodou a auskultační. Dělení krevního tlaku na systolický, diastolický a střední arteriální tlak.

Další část této práce se věnovala seznámení se s činností senzoru ADI Disposable BP, což je komerční produkt pro měření krevního tlaku. Tento senzor měří v rozmezí 0 – 300 mmHg s přesností 5 μ V/mmHg, zároveň mu ale nevadí několika násobné přetížení. Využívá principu Wheatstonova můstku. Je možné ho propojit se zařízením PowerLab 15T skrze konektor DIN8. PowerLab je zařízení, které slouží ke snímání biologických signálů.

V třetí části následovalo vytvoření funkční náhrady, která měla stejné vlastnosti a parametry jako ADI Disposable BP. Jako optimální náhrada pro měření krevního tlaku byl vybrán snímač MPS20N0040D s krytem vytištěným pomocí resinové 3D tiskárny, která nedisponuje možností vzniku skulin mezi vrstvami. Přesné rozměry se získaly pomocí posuvného měřítka, kterým byl změřen komerční produkt, tyto rozměry byly následně lehce upraveny kvůli výšce MPS20N0040D. Do krytu byla zakomponována DPS deska s připojeným tlakovým senzorem a celá krabička se následně vytvrdila resinem pod UV světlem kvůli hermetickému uzavření hubice senzoru s dutou trubicí.

Poslední, čtvrtá část této práce se zabývala vytvoření laboratorní úlohy v programu LabTutor a ověřením funkčnosti vyrobeného senzoru. K vytvoření laboratorní úlohy v programu LabTutor je využit programátor LabAuthor kernel pro vytváření úloh. Tyto úlohy jsou ve formě HTML a lze je otevřít ve webovém prohlížeči. Pro vytváření úloh se využívalo již vytvořených oken a grafů, které se vkládaly do jednotlivých stránek. K nim se následně v nastavení definovaly parametry grafů a kalibrace senzorů. Laboratorní úloha obsahuje celkem pět stran. Na první straně je seznámení se s měřením tlaku, na následující straně se nachází ověření funkčnosti zapojení. Třetí strana je vyhrazena pro měření na vytvořeném senzoru, kde student vyčte z grafu hodnoty systolického, diastolického tlaku a tepovou frekvenci. Na čtvrté straně se nachází 2 grafy. Na grafech se současně zobrazují data z obou senzorů, které jsou zapojeny do série pro porovnání. Na poslední straně jsou následně znovu vyobrazeny grafy pro zápis výsledků a několik úloh pro výpočet dat a zhodnocení nového tlakového senzoru.

Dále pro celkovou kontrolu funkčnosti a těsnosti bylo naměřeno několik dat. Tato byla použita v programu R studio, který obstaral statistické zpracování. Pro kontrolu těsnosti bylo použité kontinuální měření po dobu 3 minut, kde se pozorovaly změny v tlaku.

Z výpočtu byla zjištěna směrodatná odchylka 0,168. To znamená že naměřená data obou senzorů jsou si velmi podobná. Směrodatná odchylka značí o kolik se hodnoty obou senzorů odchylují na obě strany. Zároveň byla spočtena procentuální odchylka 0,017%.

Konečné zhodnocení je takové, že se náhrada tlakové senzoru povedla. Velikostí a naměřenými daty je výsledek téměř shodný s komerčním produktem. Pro vytvoření laboratorní úlohy je také možné využití univerzálního nepájivého plošného spoje, na které by studenti sami zapojili součástky a následně kalibrovali senzory v prostředí LabAuthor kernel. Pro kalibraci by bylo potřeba Voltmetru a sphygmanometru.

Použitá literatura

- [1] PENHAKER, Marek, Martin IMRAMOVSKÝ, Petr TIEFENBACH a František KOBZA. Lékařské diagnostické přístroje: učební texty. 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2004, 320 s. ISBN 80-248-0751-3.
- [2] PENHAKER, Marek a Jan KUBÍČEK. *Snímače a senzory v biomedicíně*. Opava: Slezská univerzita v Opavě, Filozoficko-přírodovědecká fakulta, Ústav fyziky, 2014. ISBN 978-80-7248-943-5.
- [3] SPIŠÁK, Jan, Martin IMRAMOVSKÝ a Marek PENHAKER. *Snímače a senzory v biomedicíně*. Ostrava, 2007. Skripta. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava.
- [4] TAN, Joseph K. H. *E-health care information systems: an introduction for students and professionals*. San Francisco: Jossey-Bass, c2005. ISBN 0787966185.- (str 53-55)
- [5] PENHAKER, Marek a Martin AUGUSTYNEK. *Zdravotnické elektrické přístroje 1*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2013. ISBN 978-80-248-3107-7.
- [6] G. WEBSTER, John. *Bioinstrumentation*. 1. University of Wisconsin—Madison: Hoboken, NJ : John Wiley, 2003, 384 s. ISBN 978-0471263272.
- [7] *AD Instrument: AD Instrument PowerLab 15T* [online]. [cit. 2020-01-10]. Dostupné z: <https://www.adinstruments.com/products/powerlab>
- [8] JIŘÍK, Dominik. *Snímač dechové frekvence - laboratorní úloha* [online]. Ostrava, 2019 [cit. 2020-07-19]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/10084/136187>. Bakalářská práce. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava.
- [9] KUBÁT, Tomáš. *Snímač kardiomikrofon - laboratorní úloha* [online]. Ostrava, 2019 [cit. 2020-07-19]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/10084/136188>. Bakalářská práce. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava.
- [10] ADI Disposable BP. In: *ADInstruments* [online]. [cit. 2020-07-19]. Dostupné z: <http://m-cdn.adinstruments.com/product-data-cards/MLT0699-DCW-15A.pdf>
- [11] *ADI Disposable BP Transducer* [online]. In: . [cit. 2020-07-19]. Dostupné z: <http://m-cdn.adinstruments.com/product-data-cards/MLT0670-DCW-15A.pdf>

Seznam příloh

Příloha A: Seznam použitých součástek..... I

Součástí bakalářské práce je CD.

Seznam elektronických příloh:

1. Laboratorní úloha měření krevního tlaku
2. Návrh krytu pro senzor krevního tlaku
3. Schématické zapojení senzoru krevního tlaku
4. Obvodové zapojení senzoru krevního tlaku
5. Naměřená data v Excelu

Příloha A: *Seznam použitých součástek*

Tabulka A.1: *Použité součástky*

Název	Počet	Poznámka
MPS20N0040D	1	Tlakový senzor
Rezistor 480 k Ω	1	-
DPS	1	Jednostranná (1,5 cm x 2,1 cm)
DIN8	1	Konektor
3D vytisknutý kryt	1	STL soubory v elektronické příloze
Čtyřžilový kabel	1	110 cm